

**Aktualisierung der Basisdaten für den Primärenergiebedarf
und die Treibhausgasemissionen im Gebäudesektor zur
ganzheitlichen Bewertung verschiedener Heizungssysteme**

Endbericht

erstellt im Auftrag des

Fachinformationszentrums Karlsruhe

R. Heidelck; H. J. Laue

Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik – IZW e.V.

Hannover / Karlsruhe

April 1999

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
2	Stammdatensätze GEMIS und VDEW	4
2.1	Programm GEMIS 3.08	4
2.1.1	Modul Produkte.....	5
2.1.2	Modul Prozesse.....	5
2.1.3	Modul Szenarien.....	6
2.1.4	Quellen	7
2.2	Stammdatensatz GEMIS	7
2.3	Stammdatensatz VDEW	7
2.4	Prozeßketten	7
2.5	Endenergien (Vorketten).....	8
2.6	Strommix	10
3	IZW-Vorkette Strom	14
4	IZW-Vorkette Erdgas	19
5	Endenergien für Wärmepumpen.....	23
6	Zusammenfassung	28
7	Referenzen.....	29
8	Anhang.....	31
8.1	Vorketten GEMIS.....	31
8.2	Vorketten VDEW.....	33
8.3	Vorkette Erdgas	35

1 Einleitung

Ziel der Studie ist es, aktualisierte Basisdaten für die Berechnung des Primärenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen von Heizungssystemen zu bestimmen.

Im Vordergrund stehen dabei Wärmepumpen-Heizungsanlagen. Diese werden überwiegend mit Strom und Erdgas angetrieben, wobei gegenwärtig im privaten Bereich elektrische Wärmepumpen dominieren.

Als Vergleichssystem zu Wärmepumpen-Heizungsanlagen eignet sich am besten eine Gasbrennwert-Heizungsanlage, da sie im Hinblick auf CO₂-Emissionen und Brennstoffverbrauch den höchsten Stand der Entwicklung der konventionellen, auf fossilen Energieträgern basierender Heiztechnik darstellt. Daher müssen geeignete Basisdaten speziell für die Endenergien Strom und Erdgas bereitgestellt werden.

Bisher sind vor allem zwei Datensätze, GEMIS-Öko-Institut 3.08 [1] und VDEW-GEMIS 3.0 [2], verfügbar, die die notwendigen Daten umfassend bereitstellen. Während der Bearbeitung dieser Studie haben sich diese beiden Datensätze formal und inhaltlich erheblich angenähert, so daß seit Dezember 1998 beide Datensätze mit der aktuellen Programmversion 3.08 [1] von GEMIS gemeinsam veröffentlicht werden. Für den Sommer 1999 ist darüber hinaus eine Version 3.x geplant, die eine Zusammenführung der GEMIS- und VDEW-Datensätze in Aussicht stellt. Wenn sie erreicht werden kann, wäre die allgemeine Akzeptanz der beteiligten, unterschiedlichen Interessengruppen sicherlich sehr hoch. Es wäre zu begrüßen, wenn die in dieser Studie erzielten Ergebnisse als Vorschläge in der gemeinsamen Version berücksichtigt würden.

Die Ergebnisse der Studie zeigen, daß für einen aktualisierten Datensatz die Werte der oben genannten Datensätze im Moment allein noch nicht ausreichend sind. Speziell im Strombereich müssen aktuelle Entwicklungen verfolgt und die Frage diskutiert werden, welche Primärenergieträger zur Stromerzeugung von Wärmepumpen eingesetzt werden, um einen ausgewogenen Vergleich zu anderen Heizsystemen zu ermöglichen.

Parallel zu dieser Untersuchung wurden in der Studie „Untersuchung von Praxisdaten zum Primärenergiebedarf und den Treibhausgasemissionen von modernen Wärmepumpen“ [3] Basisdaten für Variantenrechnungen zum Primärenergiebedarf und den Treibhausgasemissionen ermittelt, die den Stand der modernen Wärmepumpentechnik im Vergleich zur Brennwerttechnik dokumentieren sollen.

2 Stammdatensätze GEMIS und VDEW

Bisher sind vor allem zwei Stammdatensätze, GEMIS (Öko-Institut) 3.08 [1] und VDEW-GEMIS 3.0 [2], verfügbar, die umfangreiche Daten zur Energiewandlung und –nutzung bereitstellen. Die Datensätze werden als sogenannte Quellen, Gruppen von Daten, dem Programm GEMIS 3.08 [1] zur Verfügung gestellt. Mit Datensatz und Programm können dann Berechnungen zur Energiebereitstellung durchgeführt werden.

2.1 Programm GEMIS 3.08

Das Computermodell GEMIS (**G**esamt-**E**missions-**M**odell integrierter **S**ysteme) wurde als Instrument zur vergleichenden Untersuchung von Umwelteffekten der Energiebereitstellung und -nutzung vom Öko-Institut e.V. und der Gesamthochschule Kassel (GhK) in den Jahren 1987-1989 entwickelt und seitdem kontinuierlich aktualisiert. In der aktuellen Version 3.08 kann das Programm von der Homepage des Öko-Institutes (www.oeko.de) heruntergeladen werden.

Dieses Computerprogramm liefert Ergebnisse, wie z. B. CO₂-, SO₂- und NO_x-Emissionen, die als Bewertungshilfen für verschiedenste Prozesse und Prozeßketten herangezogen werden können. Dabei berücksichtigt GEMIS von der Primärenergie- bzw. Rohstoffgewinnung bis zur Nutzenergie- bzw. Stoffbereitstellung alle Schritte und bezieht Hilfsenergie- und Materialaufwand zur Herstellung von Energieanlagen und Transportsystemen mit ein.

GEMIS ist modular aufgebaut. Es bildet die komplexen Prozeßketten im Bereich Energie, Stoffe und Transport durch einen modularen Aufbau ab, d. h. es gibt einzelne Module, die unabhängig voneinander betrachtet und bearbeitet werden können. Diese Einzelmodule können dann beliebig kombiniert und miteinander verknüpft werden.

Die einzelnen Module und Daten sind in einer Datenbank abgelegt. Dabei handelt es sich um:

- Produkte,
- Prozesse,
- Szenarien,
- Kategorien,
- Referenzen,
- Kostenfaktoren,
- Klimafaktoren,
- externe Kosten.

Die einzelnen Module (Produkte und Prozesse) können zu Prozeßketten zusammengefügt werden. Diese Prozeßketten bilden den sogenannten Kern von GEMIS.

Filterfunktionen ermöglichen dabei, aus der Datenbasis gezielt z. B. diejenigen Prozesse auszuwählen, die bestimmte Produkte bereitstellen (Strom, Wärme etc.) oder bestimmte Brennstoffe einzusetzen. Als Filter können z. B. die Quelle, die Art und die Kategorie des Produktes oder des Prozesses dienen. Mit Hilfe dieser Filterbedingungen ist es möglich, Kenndaten aus der Datenbasis auszuwählen, zu kombinieren und zu ändern und somit neue Prozeßketten zu bilden.

2.1.1 Modul Produkte

Es können folgende **Arten** ausgewählt werden:

- Energieträger,
- Fest-/Flüssigbrennstoff,
- Gase,
- Stoffe,
- Ressourcen.

Daten zu diesen Produkten sind:

- Quelle,
- Referenz,
- Datenqualität,
- Aggregatzustand,
- Kategorie,
- Variable Kosten,
- spezifisches Gewicht,
- Art des Energieträgers,
- Emissionsfaktoren z.B. CO₂, SO₂,...,
- Heizwert bzw. Brennwert,
- chemische Zusammensetzung.

2.1.2 Modul Prozesse

Folgende Prozesstypen bzw. **Arten** können gewählt werden:

- Verbrennung (z. B. BHKW, HKW, GuD),
- Energieumwandlung (z. B. WP, Prozeßwärme),
- Stoffumwandlung (z. B. Aufbereitung),
- Transport (z. B. LKW),
- Gewinnung (z. B. Kohleförderung),
- Mixer (z. B. Zusammensetzung des Strombezuges),
- Emissionsminderung (Auswahl von Minderungstechniken z. B. REA, DeNOx),
- Antriebssystem (z. B. LKW, Zug),
- Personentransport (z. B. Fußgänger, Bus, PKW).

Daten zu Verbrennungsprozessen sind:

- Quelle,
- Referenz,
- Datenqualität,
- Ortsbezug,
- Kategorie,
- Eingangsverknüpfung,
- Energieträger,
- Leistung,
- Auslastung,
- Lebensdauer,

- Nutzungsgrad,
- Ausgangsprodukt,
- Hilfsprozesse,
- Emissionen,
- Reststoffe,
- Kosten,
- Materialeinsatz.

Für andere Arten von Prozessen werden entsprechende Daten bereitgestellt, z. B.:

- Abscheidegrad,
- Fahrleistung,
- ...

2.1.3 Modul Szenarien

Ein Szenario ist eine Anzahl verschiedener Optionen. Mit einer Option wird ein bestimmter Nutzenergie- oder Stoffbedarf und dessen Erzeugungssystem, z. B. Wasserkraftwerk, Wärmepumpe, definiert. In den Stammdatensätzen sind einige Szenarien bereits programmiert. Außerdem können aus der großen Zahl von Prozessen weitere Szenarien zusammengestellt werden. Das Programm kann für ein Szenario folgende Werte berechnen:

- **Gasförmige Emissionen**

- SO₂, NO_x, HC, HF,...
- Staub, CO, NMVOC,...
- nutzerdefinierte

- **Treibhausgase**

- CO₂, CO₂-Äquivalente
- CH₄, N₂O
- andere THG

- **Reststoffe**

- **Kosten**

- **Umsatz, Brennstoffbilanz, Ressourcenbilanz, qualitative Aspekte**

Die Ergebnisse zu den Szenarienberechnungen können in Tabellenform bzw. als Datei ausgegeben werden. Zusätzlich können sie mittels Graphiken (2D und 3D Balken) angezeigt werden. Darüber hinaus können mit den *Funktionen Vergleich, Beiträge* und *Trade Off* spezielle Vergleiche durchgeführt werden.

2.1.4 Quellen

Die gesamte Datenbank des GEMIS Programmes ist in einzelne Datensätze, die im Programm Quellen genannt werden, gegliedert. Die Quelle gibt dabei den Urheber an, der die Daten aus der Literatur oder eigenen Bewertungen bestimmt hat:

- EWK Rüsselsheim
- GhK (Gesamthochschule Kassel),
- IKARUS (Instrumente für Klimagas-Reduktions-Strategien, BMBF-Projekt),
- Öko-Institut,
- UBA (Umweltbundesamt),
- VDEW (FDE Fichtner Development Engineering).

Außerdem werden im Programm zu den Daten auch Referenzen angegeben, z. B. *Richter 1996*, die im Modul Referenzen erläutert werden - Richter 1996: persönliche Mitteilung Dr. Richter, EMPA Dübendorf, Datensatz Holz.

2.2 Datensatz GEMIS

Dieser Datensatz wird im Programm GEMIS 3.08 als „Öko-Institut“ bezeichnet und ist der ursprüngliche Kern der Datenbank von GEMIS. In der aktuellen Version sind 184 Referenzen angegeben, die aus den Jahren 1979 bis 1998 stammen. Der aktuelle Datensatz kann gemeinsam mit den zugehörigen Endberichten [4], [5] auf der Homepage des Öko-Institutes (www.oeko.de) abgerufen werden.

2.3 Datensatz VDEW

Dieser Datensatz [2] – VDEW-GEMIS Stammdatensatz 3.0 - ist vom Fichtner Development Engineering zusammengestellt worden. Nach den Dokumentationen der VDEW-GEMIS-Stammdatensätze 1.0 [6] und 3.0 [7] werden insgesamt 111 Referenzen für die FDE-Daten verwendet. Sie stammen aus den Jahren 1972 bis 1997.

2.4 Prozeßketten

Zur Berechnung der Vorketten von Endenergien werden die einzelnen Transport-, Verarbeitungs- und Umwandlungsstufen als separate Prozesse definiert und zu sogenannten Prozeßketten zusammengefaßt. Abbildung 2.1 zeigt eine solche Prozeßkette für Strom der öffentlichen Versorgung und Abbildung 2.2 die Prozeßkette für Erdgas als Endenergie für private Haushalte.

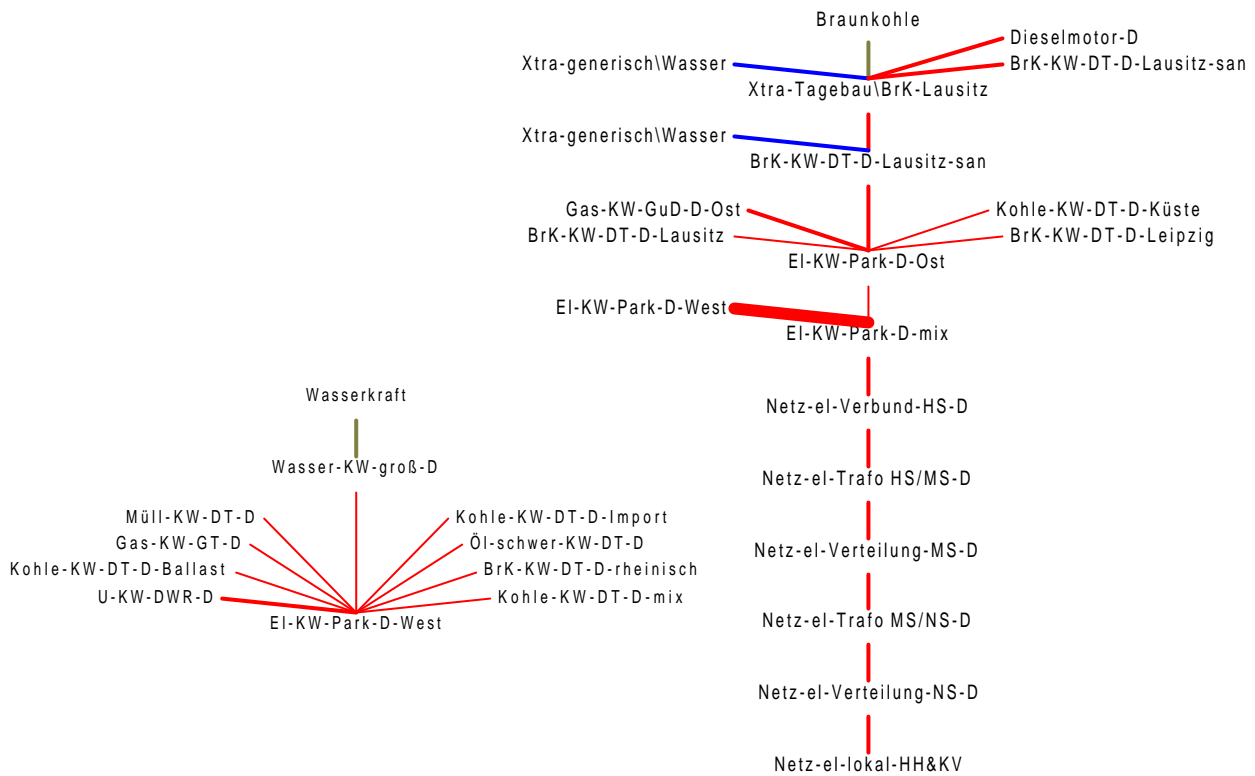


Abbildung 2.1: Prozeßkette für Strom lokal HH & KV – GEMIS-Stammdatensatz

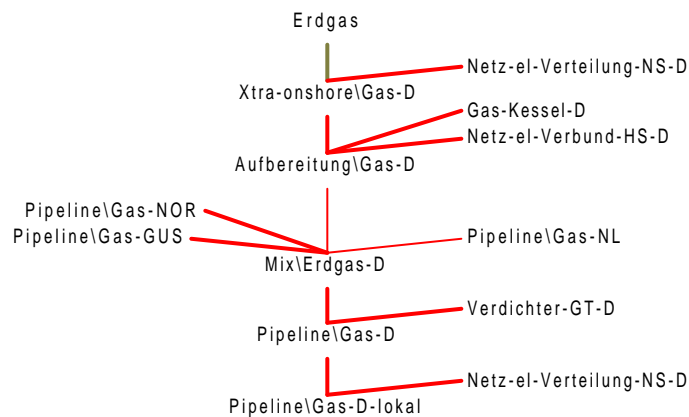


Abbildung 2.2: Prozeßkette für Erdgas HH & KV – GEMIS-Stammdatensatz

2.5 Endenergien (Vorketten)

In Tabelle 2.1 sind die wichtigsten Vergleichskriterien von Endenergien für Haushalte und Kleinverbraucher zusammengestellt. Einzelheiten der nach GEMIS bzw. VDEW berechneten Vorketten sind im Anhang (Abschnitt 8.1 und 8.2) wiedergegeben.

Die Primärenergiefaktoren sind für den Strom der öffentlichen Versorgung und den Heizstrom annähernd gleich, die verbleibenden Unterschiede sind auf die zugrunde gelegten Strommixe und die abweichend angenommenen Verluste in der Stromverteilung zurückzuführen.

Für Wärmepumpenstrom wird von GEMIS neben dem Strom der öffentlichen Versorgung (GEMIS Mix) auch eine Stromart definiert, die auf der alleinigen Erzeugung aus Steinkohle basiert, dessen Kraftwerke jedoch überdurchschnittliche hohe Nutzungsgrade aufweisen, was zu dem deutlich besseren Primärenergiefaktor im Vergleich zu den Strommix-Varianten der öffentlichen Versorgung führt. Beim VDEW-Stammdatensatz wird statt dessen ausschließlich mit dem Strommix der öffentlichen Versorgung gerechnet.

Vor allem beim Erdgas, aber auch beim Heizöl, liegen die Primärenergiefaktoren bei GEMIS generell niedriger, d. h. GEMIS nimmt im Vergleich zu VDEW weniger Verluste in den Vorketten an.

Die unterschiedlichen Werte für die CO₂-Emissionen und die CO₂-Äquivalente der verschiedenen Stromarten lassen sich aus den zugrunde gelegten Kraftwerksmix herleiten, die vor allem vom Anteil fossiler Energieträger und der Kernenergie abhängen. Eine detaillierte Darstellung ist in dem Abschnitt 2.6, Strommixe, angegeben.

Entsprechend den Primärenergiefaktoren sind die Erdgas- und Heizöl-CO₂-Emissionen und -Äquivalente beim GEMIS-Stammdatensatz niedriger als beim VDEW-Datensatz, wobei vor allem der Unterschied der CO₂-Emissionen beim Erdgas auffällt, der durch eine unterschiedliche Einstufung des Aufwandes für Hilfsenergien für Verarbeitung und Transport hervorgerufen wird. Dieser Zusammenhang wird in Abschnitt 4 ausführlich erläutert.

Die Leckagen in der Erdgas-Vorkette werden hingegen relativ ähnlich eingeschätzt, da die Differenz zwischen CO₂-Emissionen und CO₂-Äquivalenten, die alle klimawirksamen Gase (z.B. Methan) berücksichtigen, nahezu gleich ist.

Tabelle 2.1: Vergleich verschiedener Bewertungsgrößen für Endenergien in Haushalten und bei Kleinverbrauchern (Vorkette)

Endenergien HH & KV	PE-Faktor	CO ₂ -Emis. kg/MWh	CO ₂ -Äq. kg/MWh
Strom öffentliche Versorgung			
VDEW	2,99	604,0	639,8
GEMIS	2,94	648,6	688,9
Strom Wärmepumpe			
VDEW	2,99	604,0	639,8
GEMIS Stk	2,72	907,1	1018,8
GEMIS Mix	2,94	648,6	688,9
Strom Nachtspeicherheizung			
VDEW	3,00	647,6	703,6
GEMIS	2,93	817,0	917,1
Erdgas			
VDEW	1,14	21,2	44,4
GEMIS	1,07	8,2	30,5
Heizöl			
VDEW	1,10	25,6	26,9
GEMIS	1,09	23,6	25,0

2.6 Strommix

In Tabelle 2.2 sind für den Strom der öffentlichen Versorgung die Anteile der Kraftwerke gegenübergestellt. Die Bezeichnungen der Kraftwerkstypen sind den Datensätzen entnommen.

Tabelle 2.2: Vergleich der Anteile verschiedener Kraftwerkstypen am Strommix der öffentlichen Versorgung von GEMIS und VDEW

Kraftwerkstyp	GEMIS	VDEW
Wasser-KW-groß-D*	4,0 %	5,0 %
KKW--D*	26,5 %	34,0 %
Steinkohle-KW-DT-D-mix*	22,1 %	17,0 %
Steinkohle-KW-DT-D-Bal.*	4,4 %	4,0 %
BrK-KW-DT-D-Rhein.*	17,7 %	16,0 %
BrK-KW-DT-D-Leipzig*	2,1 %	2,0 %
BrK-KW-DT-D-Lausitz*	2,0 %	8,0 %
Gas-KW-GT-D*	8,9 %	4,0 %
Gas-KW-GuD-D-Ost	3,6 %	-
Gas-KW-DT-D*	-	4,0 %
Öl-S-KW-DT-D*	0,9 %	1,0 %
Steinkohle-KW-DT-D-Imp.*	0,9 %	4,0 %
Müll-KW-DT-D*	1,8 %	0,8 %
Wind-KA-groß-D*	1,3 %	0,2 %
BrK-KW-DT-D-Lausitz-san	3,3 %	-
Kohle-KW-DT-D-Küste	0,5 %	-

Da für den Strommix der öffentlichen Versorgung verschiedene Kraftwerkstypen angegeben sind, wird der Strommix nach den Primärenergieträgern in Tabelle 2.3 aufgeschlüsselt. Es zeigt sich, daß beim VDEW-Datensatz der Urananteil um 7,5%-Punkte größer ist als beim GEMIS-Datensatz, der einen 4,5%-Punkte höheren Erdgasanteil und einen 2,0%-Punkte höheren Kohleanteil (Summe Steinkohle und Braunkohle) zugrunde legt. Die fehlende Differenz wird durch einen höheren Anteil von regenerativen Energieträger beim GEMIS-Datensatz ausgeglichen.

Tabelle 2.3: Vergleich der Anteile verschiedener Primärenergieträger am Strommix der öffentlichen Versorgung von GEMIS und VDEW

	GEMIS	VDEW	Differenz (VDEW-GEMIS) in %-Punkten
Wasser	4,0 %	5 %	+1,0 %
Uran	26,5 %	34 %	+7,5 %
Steinkohle	27,9 %	25 %	-2,9 %
Braunkohle	25,1 %	26 %	+0,9 %
Erdgas	12,5 %	8 %	-4,5 %
Öl	0,9 %	1 %	+0,1 %
Müll	1,8 %	0,8 %	-1,0 %
Wind	1,3 %	0,2 %	-1,1 %

Dem Strommix des VDEW-Stammdatensatz liegen statistische Auswertungen der VDEW und einer Studie der Deutschen Verbundgesellschaft e.V. [8] zugrunde. Als weitere Quellen

wird eine Studie des Bundesministeriums für Wirtschaft [9] und eine der Prognos AG [10] genannt.

Dem Strommix des GEMIS-Datensatzes liegen ebenfalls die Studien der Prognos AG [10] und des Bundesministeriums für Wirtschaft [9] zugrunde. Als weitere Quelle wird ein Bericht der IEA [11] angegeben.

In Tabelle 2.4 sind die Anteile für den Grundlast-Strommix dargestellt. Beide Stammdatensätze sind identisch, da sie auf die gleichen Referenzen [8], [9] verweisen. Allerdings wird dieser Strommix nicht für Endenergien von Haushalten und Kleinverbrauchern benutzt.

Tabelle 2.4: Vergleich der Anteile verschiedener Kraftwerkstypen am Grundlast-Strommix von GEMIS und VDEW

Kraftwerkstyp	GEMIS	VDEW
KKW--D*	39,0 %	39,0 %
BrK-KW-DT-D-Rhein.*	30,0 %	30,0 %
Steinkohle-KW-DT-D-Bal.*	13,0 %	13,0 %
Wasser-KW-groß-D*	4,0 %	4,0 %
BrK-KW-DT-D-Lausitz*	8,0 %	8,0 %
BrK-KW-DT-D-Lausitz-san	4,0 %	4,0 %
BrK-KW-DT-D-Leipzig*	2,0 %	2,0 %

Der dritte aufgeführte Strommix - Tabelle 2.5 - wird zum direkten Heizen verwendet, d. h. für Elektro-Speicher-Heizungen. Im GEMIS-Datensatz wird dafür eine eigene Schätzung des Öko-Institutes zugrundegelegt. Im VDEW-Datensatz wird ein Strommix benutzt, der in Zusammenarbeit mit der VDEW ermittelt wurde, als weitere Referenzen werden die Studien der Prognos AG [10] und der IEA [11] angegeben.

Tabelle 2.5: Vergleich der Anteile verschiedener Kraftwerkstypen am Heizstrommix von GEMIS und VDEW

Kraftwerkstyp	GEMIS	VDEW
KKW--D*	15,0 %	36,0 %
Steinkohle-KW-DT-D-mix*	85,0 %	46,0 %
BrK-KW-DT-D-Rhein.*	-	10,0 %
BrK-KW-DT-D-Leipzig*	-	2,0 %
BrK-KW-DT-D-Lausitz*	-	6,0 %

Wärmepumpenstrom wird, wie in Abschnitt 2.5 erläutert, von beiden Datensätzen unterschiedlich gehandhabt. GEMIS verwendet zum einen den Strom aus einem Steinkohlekraftwerk, zum anderen den Strommix der öffentlichen Versorgung. VDEW setzt ausschließlich den Strommix der öffentlichen Versorgung an - Tabelle 2.6.

In Tabelle 2.7 sind verschiedene Kennwerte zu den Strommischen zusammenfassend dargestellt. Im Vergleich zu Tabelle 2.1 beziehen sich diese Werte auf den Kraftwerksausgang und enthalten nicht Verluste für die Verteilung an den Kunden. Die Darstellung wurde gewählt, um einen direkten Vergleich der Strommische ohne Einflüsse durch die unterschiedliche Stromverteilung zu ermöglichen.

Tabelle 2.6: Vergleich der Anteile verschiedener Kraftwerkstypen am Wärmepumpenstrom von GEMIS und VDEW

Kraftwerkstyp	GEMIS Stk	GEMIS Mix	VDEW
Wasser-KW-groß-D*	-	4,0 %	5,0 %
KKW--D*	-	26,5 %	34,0 %
Steinkohle-KW-DT-D-mix*	100 %	22,1 %	17,0 %
Steinkohle-KW-DT-D-Bal.*	-	4,4 %	4,0 %
BrK-KW-DT-D-Rhein.*	-	17,7 %	16,0 %
BrK-KW-DT-D-Leipzig*	-	2,1 %	2,0 %
BrK-KW-DT-D-Lausitz*	-	2,0 %	8,0 %
Gas-KW-GT-D*	-	8,9 %	4,0 %
Gas-KW-GuD-D-Ost	-	3,6 %	-
Gas-KW-DT-D*	-	-	4,0 %
Öl-S-KW-DT-D*	-	0,9 %	1,0 %
Steinkohle-KW-DT-D-Imp.*	-	0,9 %	4,0 %
Müll-KW-DT-D*	-	1,8 %	0,8 %
Wind-KA-groß-D*	-	1,3 %	0,2 %
BrK-KW-DT-D-Lausitz-san	-	3,3 %	-
Kohle-KW-DT-D-Küste	-	0,5 %	-

Die Primärenergiefaktoren sind für den allgemeinen Strommix für beide Datensätze annähernd gleich groß. Unterschiede zeigen sich bei den CO₂-Äquivalenten, die auf den höheren Anteil fossiler Energieträger beim GEMIS-Datensatz zurückzuführen sind.

Die Grundlast-Strommixe sind in beiden Datensätzen gleich. Geringe Unterschiede in den Primärenergiefaktoren, den CO₂-Emissionen und den CO₂-Äquivalenten sind durch unterschiedliche Nutzungsgrade der Kraftwerke und durch eine unterschiedliche Bewertung der Vorketten begründet.

Tabelle 2.7: Vergleich der wichtigsten Kenndaten verschiedener Strommixe

Strommixe	PE-Faktor	CO ₂ -Emis. kg/MWh	CO ₂ -Äq. kg/MWh
Allgemeiner Strommix			
VDEW	2,84	574,7	608,7
GEMIS	2,85	628,8	667,6
Grundlast-Strommix			
VDEW	2,82	607,0	626,5
GEMIS	2,80	615,5	634,6
Heizstrom-Mix			
VDEW	2,85	616,2	669,5
GEMIS	2,79	776,1	871,3
Wärmepumpen-Strommix			
VDEW	2,84	574,7	608,7
GEMIS Stk	2,72	907,1	1018,8
GEMIS Mix	2,85	628,8	667,6

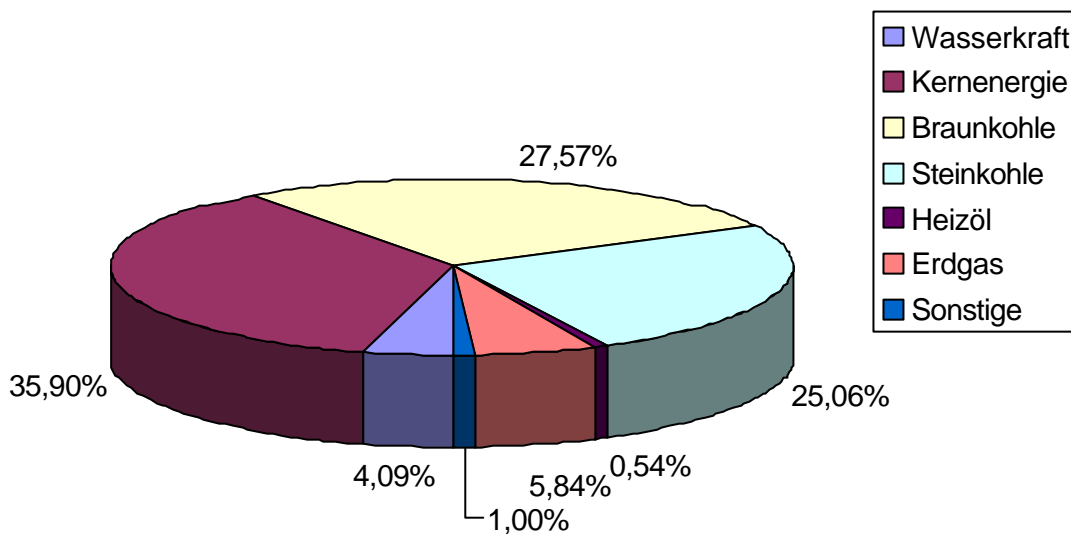
Die Werte für den Heizstrom-Mix und Wärmepumpen-Strommix weichen am deutlichsten von allen Strommixen voneinander ab. Ursache ist der bereits erwähnte hohe Anteil des Energieträgers Kohle am Strommix beim GEMIS-Datensatz.

Einzelheiten zum VDEW- und GEMIS-Strommix sind im Anhang, Abschnitt 8, wiedergegeben.

3 IZW-Vorkette Strom

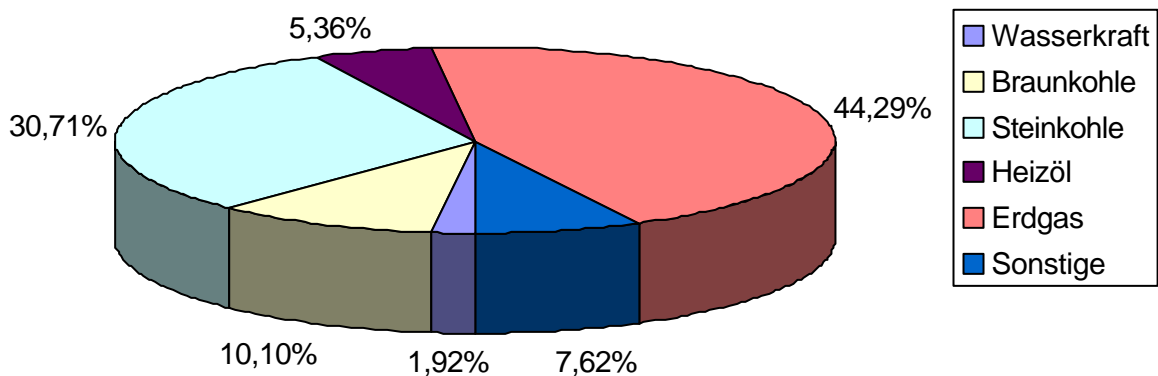
Zur Festlegung der energetischen und umweltbezogenen Kennwerte der IZW-Vorkette Strom wird auf die Datensätze GEMIS und VDEW zurückgegriffen, die in Abschnitt 2 vorgestellt wurden. An erforderlichen Stellen werden neue Daten eingefügt. Zunächst soll daher eine detaillierte Analyse des aktuellen Strommarktes durchgeführt werden.

Die Elektrizitätserzeugung setzt sich aus der Erzeugung der öffentlichen Versorger und der Eigenanlagen der Industrie und der Deutschen Bahn AG zusammen. Der Strom wird aus verschiedenen Primärenergieträgern gewonnen. Die Verteilung, bezogen auf die Netto-Erzeugung, ist in den Abbildungen 3.1. bis 3.3 für das Jahr 1997 dargestellt. Die Kategorie "Sonstige" faßt die Primärenergieträger Müll-, Klär- und Grubengas zusammen. In den Anteilen der Wasserkraft sind auch die Anteile der Windkraft enthalten [12].



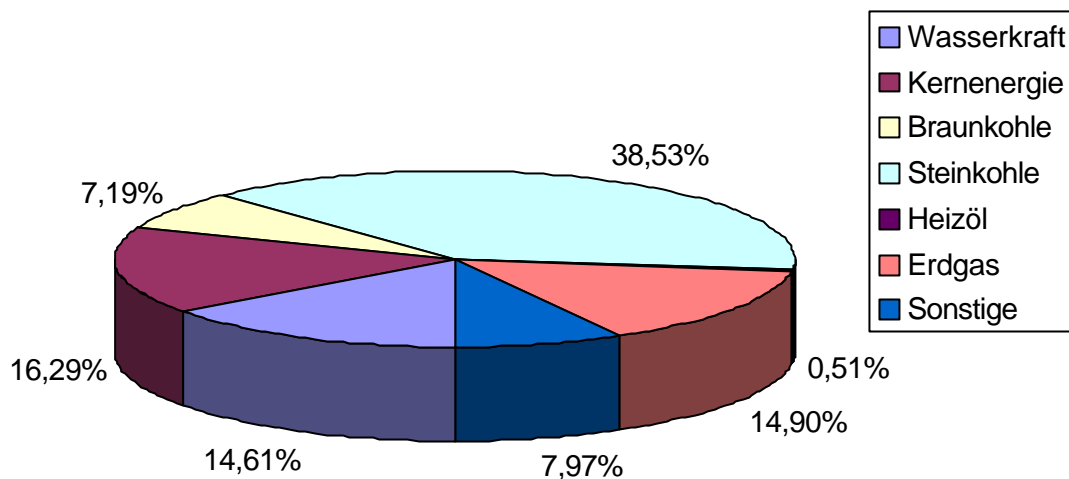
Quelle: Strommarkt Deutschland 1997, VDEW

Abbildung 3.1: Netto-Elektrizitätserzeugung der öffentlichen Versorger 1997, 445,9 Mrd. kWh



Quelle: Strommarkt Deutschland 1997, VDEW

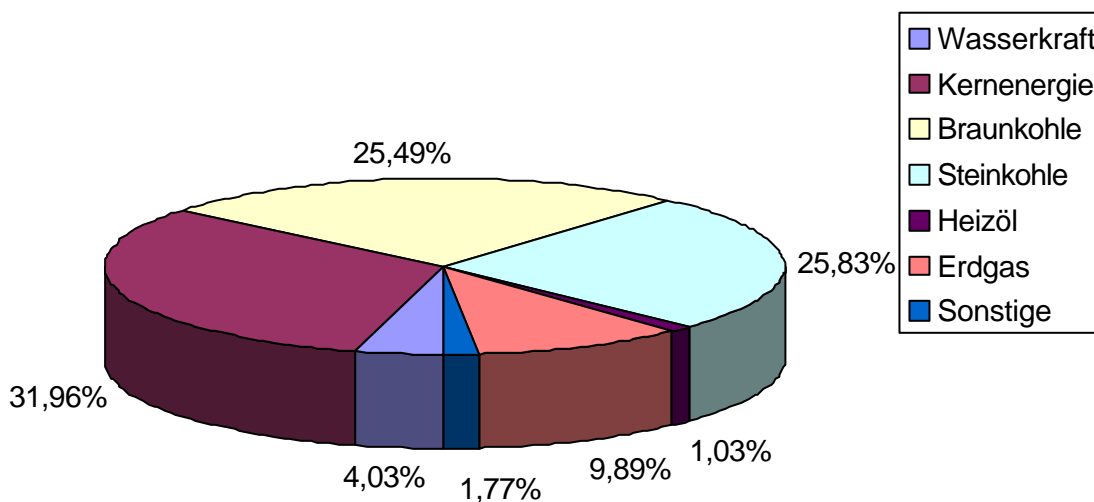
Abbildung 3.2: Netto-Elektrizitätserzeugung der industriellen Eigenanlagen 1997, 51,4 Mrd. kWh



Quelle: Strommarkt Deutschland 1997, VDEW

Abbildung 3.3: Netto-Elektrizitätserzeugung der Deutschen Bahn AG 1997, 7,5 Mrd. kWh

Insgesamt wurden 1997 504,8 Mrd. kWh erzeugt. Die entsprechende Verteilung ist in Abbildung 3.4 angegeben. Wie die Abbildungen zeigen, sind die Anteile der Primärenergie an der Stromerzeugung in den einzelnen Bereichen sehr unterschiedlich. Die Stromerzeugung der öffentlichen Versorger ist durch Kernenergie, Braun- und Steinkohle dominiert. Die industriellen Eigenanlagen werden überwiegend mit Erdgas und Steinkohle betrieben, wobei der Erdgasanteil noch deutlich überwiegt. Bei der Deutschen Bahn AG ist der größte Anteil der Steinkohleanteil. Auffällig ist hier der gegenüber den anderen Erzeugungsbereichen stark erhöhte Wasserkraftanteil von fast 15%.



Quelle: Strommarkt Deutschland 1997, VDEW

Abbildung 3.4: Gesamte Elektrizitätserzeugung 1997, 504,8 Mrd. kWh

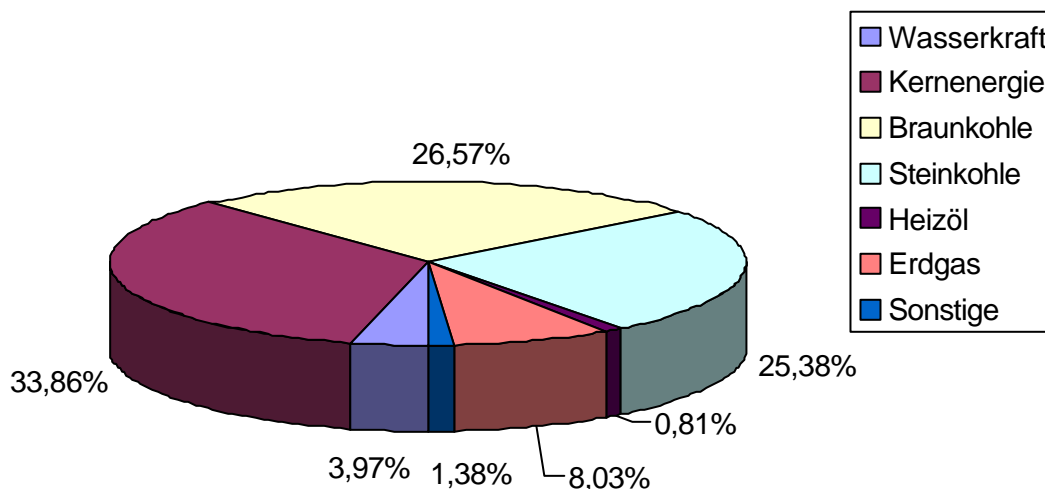
Bei der Stromerzeugung ist die Pumparbeit für Pumpspeicherkraftwerke noch nicht berücksichtigt, da die Erzeugung und der Verbrauch von Strom in diesen Kraftwerken wegen der Nutzung als Speicher zu unterschiedlichen Tageszeiten erfolgt. Sie beträgt für die öffentliche

Versorgung und industrielle Eigenanlagen 5,465 Mrd. kWh und für die Deutsche Bahn AG 0,212 Mrd. kWh. Damit wird von den 20,326 Mrd. kWh, die durch Wasserkraft erzeugt werden, 27,9% für Pumparbeit wieder verbraucht. Der korrigierte Anteil der Wasserkraft am Strommix für die öffentliche Versorgung beträgt dann 2,96%, für industrielle Eigenanlagen 1,39%, für die Deutsche Bahn 12,12% und für die gesamte Elektrizitätserzeugung 2,94%. Da die Summe aller Prozentangaben dann nicht mehr 100% ist, müssten alle Angaben auf 100% umgerechnet werden. Das Ergebnis ist in Tabelle 3.1 angegeben. Diese Darstellung wird nicht weiter verfolgt, da sie einen Vergleich zu anderen Veröffentlichungen erschwert bzw. unmöglich macht. Entsprechend der üblichen Darstellung wird die Pumparbeit als zusätzlicher Verlust berücksichtigt.

Tabelle 3.1: Anteile an der Elektrizitätserzeugung unter Berücksichtigung der Pumparbeit 1997.

	Öffentliche Versorger	Industrielle Eigenlagen	Deutsche Bahn	Gesamt
Wasserkraft	2,96 %	1,39 %	12,12 %	2,94 %
Kernenergie	36,33 %	-	16,77 %	32,32 %
Braunkohle	27,90 %	10,15 %	7,41 %	25,78 %
Steinkohle	25,35 %	30,87 %	39,65 %	26,13 %
Heizöl	0,54 %	5,39 %	0,52 %	1,04 %
Erdgas	5,91 %	44,53 %	15,33 %	10,00 %
Sonstige	1,01 %	7,67 %	8,20 %	1,79 %

Die öffentliche Versorgung wird nicht nur von den öffentlichen Versorgern sichergestellt, sondern auch von Einspeisungen der Deutschen Bahn und Industrie. Damit ergibt sich der in Abbildung 3.5 gültige Strommix für Strom der öffentlichen Versorgung [12].



Quelle: Strommarkt Deutschland 1997, VDEW

Abbildung 3.5: Netto-Elektrizitätserzeugung der öffentlichen Versorgung 1997, 472,9 Mrd. kWh

Mit diesem Strommix werden die Kennwerte des Stroms für die öffentliche Versorgung mit dem Programm GEMIS 3.08 [1] berechnet. Als Basis dienen der GEMIS- und der VDEW-Datensatz, die im Internet frei für jeden Nutzer zur Verfügung stehen und sich gut für diese Untersuchungen eignen, da sie weit verbreitet und bekannt sind.

Entscheidenden Einfluß auf die berechneten Werte haben die Wirkungsgrade der eingesetzten Kraftwerke, der Kraftwerksmix und die Verluste für die Verteilung des Stroms an den Kunden. Für diese Daten wird eine neue Bewertung vorgenommen.

Vom GEMIS- und VDEW-Datensatz werden die Vorketten-Verluste der Brennstoffe ohne Änderung übernommen. Wie in Tabelle 8.5 und 8.10 dargestellt, sind die Kennwerte für GEMIS und VDEW für die Brennstoff-Vorketten ähnlich, wobei vom VDEW-Datensatz tendenziell größere Verluste angenommen werden. Insgesamt sind die Unterschiede jedoch gering, vor allem wenn noch zusätzlich in Betracht gezogen wird, daß die sich aus diesen Verlusten ergebenden Emissionen noch zu den weit höheren direkten Brennstoff-Emissionen hinzuaddiert werden müssen, so daß ohne weitere detailliertere Prüfungen beide Datensätze zu jeweils 50% einfließen.

Im GEMIS- und VDEW-Datensatz sind die Kraftwerkswirkungsgrade für den Zeitraum 1995-2000 durch Auswertung verschiedener Studien und durch Herstellerangaben bestimmt worden. Die Ergebnisse sind für beide Datensätze recht ähnlich, wie die Angaben in Tabelle 8.3 und 8.8 zeigen. Um beide Datensätze angemessen berücksichtigen zu können, wird wiederum der arithmetische Mittelwert der Kraftwerkswirkungsgrade beider Datensätze für die IZW-Prozesskette benutzt.

Für den Kraftwerksmix werden die Anteile für die Primärenergieträger aus Abbildung 3.5 verwendet. Für die Primärenergieträger Erdgas, Braun- und Steinkohle müssen diese Anteile noch auf unterschiedliche Kraftwerkstypen verteilt werden. Dazu werden die Verteilungen des GEMIS- und des VDEW-Datensatzes zu gleichen Anteilen einbezogen. Das Ergebnis für den Kraftwerksmix und die Netto-Nutzungsgrade sind in Tabelle 3.2 angegeben.

Tabelle 3.2: Wichtige Kenndaten von Kraftwerken - IZW

Nr.	Kraftwerkstyp	Anteil	Nutzungsgrad
1	Wasser-KW-groß-D	3,97 %	90,0 %
2	U-KW-DWR-D	33,86 %	33,0 %
3	BrK-KW-DT-D-rheinisch	17,54 %	37,4 %
4	BrK-KW-DT-D-Lausitz	2,13 %	40,5 %
5	BrK-KW-DT-D-Leipzig	5,15 %	40,8 %
6	BrK-KW-DT-D-Lausitz-san	1,75 %	35,0 %
7	Kohle-KW-DT-D-mix	18,68 %	39,0 %
8	Kohle-KW-DT-D-Ballast	4,03 %	39,0 %
9	Kohle-KW-DT-D-Import	2,44 %	40,7 %
10	Kohle-KW-DT-D-Küste	0,23 %	42,4 %
11	Gas-KW-GT-D	4,86 %	33,5 %
12	Gas-KW-GuD-D-Ost	1,16 %	55,0 %
13	Gas-KW-DT-D	2,01 %	41,8 %
14	Öl-schwer-KW-DT-D	0,81 %	40,9 %
15	Müll-KW-DT-D	1,38 %	12,5 %

Für die Verluste der Stromverteilung an den Kunden wird der Bericht „Strommarkt 1997“ der VDEW [12] verwendet, da hier noch aktuelle Angaben für die Pumparbeit von Pumpspeicherkraftwerken berücksichtigt werden können. Die gesamten Verluste für Verteilung und Pumparbeit betragen 6,01%, wobei 1,17% auf die Pumparbeit und 4,84% auf die Verteilungsverluste entfallen. Im Vergleich werden vom GEMIS-Datensatz Verteilungsverluste von 2,9% und vom VDEW-Datensatz 4,9% angegeben.

Insgesamt führen die erläuterten IZW-Annahmen zu den in Tabelle 3.3 dargestellten Kennwerten für die Vorkette Strom der öffentlichen Versorgung. Außerdem sind dort die Kennwerte für die entsprechenden Vorketten von GEMIS und VDEW wiedergegeben. Gemäß den erläuterten Randbedingungen liegen die Kennwerte im allgemeinen zwischen den Kennwerten von GEMIS und VDEW.

Abweichungen treten insbesondere für den Primärenergiewirkungsgrad auf, der 2,7% über dem Wert vom VDEW-Datensatz und 4,4% über dem Wert vom GEMIS-Datensatz liegt. Die Ursache liegt in der Einführung des höheren IZW-Verteilungsverlustes und eines eigenen IZW-Strommixes, wobei erwähnt werden muß, daß eine Veränderung der Anteile einzelner Primärenergieträger, wie Kernenergie, Gas oder Müll, sich stets unterschiedlich auf CO₂-Bilanz und Primärenergiewirkungsgrad auswirkt.

Tabelle 3.3: Kennwerte der Vorkette Strom der öffentlichen Versorgung für GEMIS, VDEW und IZW

	Einheit	VDEW	GEMIS	IZW
PE-Faktor	-	2,99	2,94	3,07
Emissionen				
CO₂	kg/MWh	603,97	648,55	625,65
CO₂-Äq.	kg/MWh	639,77	688,88	661,94
SO₂	kg/MWh	0,31	0,43	0,38
NO_x	kg/MWh	0,52	0,93	0,65
HCl	kg/MWh	0,01	0,02	0,01
HF	kg/MWh	0,00	0,00	0,00
SO₂-Äq.	kg/MWh	0,68	1,09	0,85
Staub	kg/MWh	0,07	0,06	0,06
CO	kg/MWh	0,20	0,27	0,22
NM VOC	kg/MWh	0,04	0,09	0,06
H₂S	kg/MWh	0,00	0,00	0,00
NH₃	kg/MWh	0,00	0,00	0,00
CH₄	kg/MWh	1,38	1,55	1,39
N₂O	kg/MWh	0,02	0,02	0,02

4 IZW-Vorkette Erdgas

Zur Festlegung der energetischen und umweltbezogenen Kennwerte der Vorkette Erdgas soll auf die Datensätze GEMIS und VDEW zurückgegriffen werden, die in Abschnitt 2 vorgestellt wurden. Zunächst soll eine detailliertere Analyse der verwendeten Kenndaten die Unterschiede der Datensätze verdeutlichen.

Beide Datensätze benutzen zur Berechnung der Kennwerte jeweils eine Prozeßkette, die in Abbildung 4.1 und 4.2 dargestellt sind.

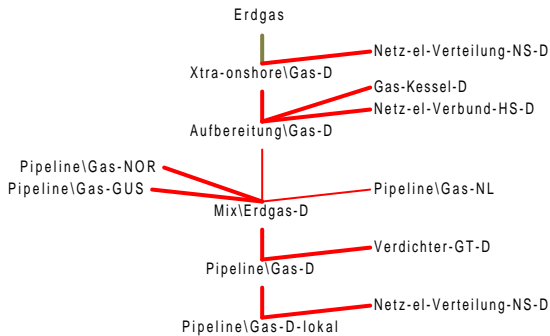


Abbildung 4.1: Prozeßkette Erdgas nach GEMIS

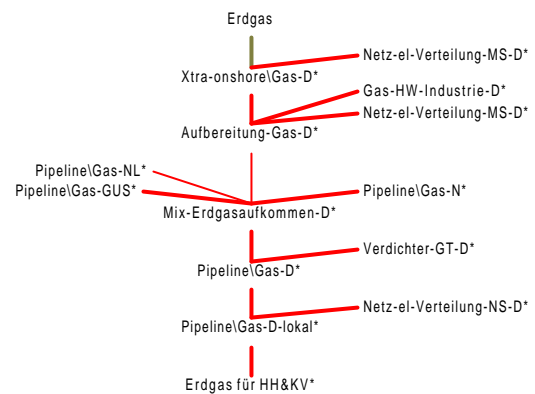


Abbildung 4.2: Prozeßkette Erdgas nach VDEW

Es fällt sofort auf, daß beide Datensätze die gleiche Prozeßkettenstruktur verwenden, wobei beim VDEW-Datensatz noch der Prozeß Erdgas für HH & KV* (Haushalte und Kleinverbraucher) ergänzt wurde. Dieser Prozeß hat einen Nutzungsgrad von 100%, d. h. er hat energetisch keinen Einfluß und wird nur verwendet, um die Bedienung des Programmes durch einen gefälligeren Namen zu erleichtern. Somit unterscheiden sich die Datensätze für die Vorkette Erdgas nur in den Kenndaten, die den einzelnen Prozessen zugrunde liegen, wie die Gegenüberstellung in Tabelle 4.1 und 4.2 zeigt.

Tabelle 4.1: Anteile am Erdgasmix und Kenndaten des Pipelinetransports nach Erzeugerländern

Land		Anteil	Pipeline-länge km	Leckage %/100km	Transportaufwand MJ/t*km	Verdichternutzungsgrad
D	GEMIS	18%	250	0,0006	0,072	30%
	VDEW	18%	250	0,017*	0,198	30%
GUS	GEMIS	32%	7000	0,016	0,072	25%
	VDEW	32%	7000	0,011	0,324	24%
NL	GEMIS	17%	600	0,0006	0,072	30%
	VDEW	22%	300*	0,001	0,198	30%
NOR	GEMIS	33%	1700	0,0006	0,072	30%
	VDEW	28%	1700	0,001	0,198	30%
D-lokal	GEMIS		10	7,0	-	-
	VDEW		10	0,67*	-	-

* Vermutlicher Programmfehler

Tabelle 4.2: Kenndaten der Erdgas-Aufbereitung und der Erdgasförderung nach Erzeugerländern

Land		NG-Aufbereitung	Einsatz Wärme MWh/MWh	Einsatz Strom MWh/MWh	NG-Förderung	Einsatz Strom MWh/MWh
D	GEMIS	100%	0,5%	0,5%	100%	0,11%
	VDEW	98%	1,0%	1,0%	100%	0,3%
GUS	GEMIS	95%	0,64%	0,2%	100%	0,1%
	VDEW	95%	0,48%	0,25%	100%	0,3%
NL	GEMIS	100%	0,1%	0,1%	100%	0,11%
	VDEW	98%	-	0,1%	100%	0,3%
NOR	GEMIS	100%	0,1%	0,1%	100%	0,11%
	VDEW	98%	-	0,11%	100%	0,39%

Die Darstellung in Tabelle 4.1 zeigt, daß sich die Erdgasmixe bei beiden Datensätzen kaum unterscheiden. Lediglich ist der Anteil aus den Niederlanden um 5%-Punkte bei dem VDEW-Datensatz höher, und der Anteil aus Norwegen ist dem entsprechend um 5%-Punkte niedriger.

Deutliche Unterschiede weisen hingegen die Werte für den Hilfsenergieeinsatz auf. Der Transportaufwand in den Pipelines liegt beim VDEW-Datensatz um den Faktor 3 bis 4,5 höher als beim GEMIS-Datensatz. Auch der Energieaufwand bei der Förderung liegt um einen ähnlichen Faktor von 2,7 bis 3,9 über den Werten von GEMIS. Lediglich die Daten für die Aufbereitung des Erdgases variieren maximal um den Faktor zwei, wobei für verschiedene Förderländer zum Teil GEMIS und zum Teil VDEW höhere Werte angegeben.

Die Nutzungsgrade der Prozesse für die Förderung liegen für beide Datensätze bei 100%. Abweichungen treten für die Nutzungsgrade der Aufbereitung auf, die bei GEMIS mit ebenfalls 100% angegeben werden und bei VDEW mit 98% um 2%-Punkte niedriger, für die Aufbereitung in der GUS wird hingegen der einheitliche Wert von 95% angeführt.

Die Daten für die Leckage in den Pipelines sind ähnlich. Ein eklatanter Unterschied besteht allerdings für die Leckage in den deutschen Pipelines. Der VDEW-Datensatz nimmt hier einen um den Faktor 17 höheren Wert an. Im Endbericht zur Version 1.0 [6] wird noch ein Wert von 0,001% pro 100 km angegeben, so daß es sich hier um einen Programmierfehler handeln dürfte. Aus den selben Gründen sollte die Länge der Pipeline in den Niederlanden auf 600 km und die Leckage im lokalen deutschen Netz auf 5,8% pro 100 km im VDEW-Datensatz korrigiert werden.

Im Anhang, Abschnitt 8.3, sind außerdem die emissionsbezogenen Kenndaten der beiden Datensätze zusammengefaßt.

Insgesamt führen die unterschiedlichen Annahmen zu den in Tabelle 4.4 dargestellten Kennwerten für die Vorkette Erdgas. Außerdem sind dort die Kennwerte für die Vorkette gemäß den IZW-Annahmen wiedergegeben.

Sicherlich sind die beiden Datensätze GEMIS und VDEW mit großer Sorgfalt zusammengestellt worden. Trotzdem ergeben sich, wie die bisherigen Ausführungen zeigen, bei den Ergebnissen Unterschiede, die auf abweichende Annahmen und der Verwendung unterschied-

licher Quellen basieren. Um beiden Datensätzen Rechnung zu tragen, wird für den IZW-Datensatz der pragmatische Ansatz gewählt, daß der arithmetische Mittelwert der Kenndaten vom GEMIS- und VDEW-Datensatz angesetzt wird. Diese Kenndaten sind in Tabelle 4.3 dargestellt. Die Ergebnisse der Berechnungen der Kennwerte der Vorkette Erdgas mit diesen Daten sind ebenfalls in Tabelle 4.4 angegeben. Die berechneten Werte sind aufgrund der gemachten Annahmen arithmetische Mittelwerte.

Tabelle 4.3: Kenndaten des IZW-Datensatzes zur Vorkette Erdgas

Teil 1:

Land	Anteil	Pipeline-länge km	Leckage %/100km	Transportaufwand MJ/T*km	Verdichternutzungsgrad
D	18%	250	0,0088	0,135	30%
GUS	32%	7000	0,0135	0,198	24,5%
NL	19,5%	450	0,0008	0,135	30%
NOR	30,5%	1700	0,0008	0,135	30%
D-lokal		10	7,835		

Teil 2:

Land	NG-Aufbereitung	Einsatz Wärme MWh/MWh	Einsatz Strom MWh/MWh	NG-Förderung	Einsatz Strom MWh/MWh
D	99%	0,75%	0,75%	100%	0,205%
GUS	95%	0,56%	0,225%	100%	0,2%
NL	99%	0,05%	0,1%	100%	0,205%
NOR	99%	0,05%	0,105%	100%	0,25%

Teil 3:

	SO ₂	NO _x	CO ₂	CH ₄	CO
Pipeline\Gas-D-lokal	-	-	-	489,600	-
Pipeline\Gas-D	-	-	-	1,080	-
Aufbereitung-Gas-D	0,936	0,0108	-	77,400	0,018
Xtra-onshore\Gas-D	0,486	0,063	0,252	73,800	-
Pipeline\Gas-NL	-	-	-	3,600	-
Aufbereitung-Gas-NL	-	0,0108	-	91,800	0,018
Xtra-onshore\Gas-NL	-	0,0756	0,306	91,800	-
Pipeline\Gas-GUS	-	-	-	669,600	-
Aufbereitung-Gas-GUS	0,270	0,009	-	376,200	0,018
Xtra-onshore\Gas-GUS	0,198	0,135	0,540	257,400	-
Pipeline\Gas-NOR	-	-	-	5,760	-
Aufbereitung-Gas-NOR	-	0,009	-	79,200	0,018
Xtra-offshore\Gas-NOR	-	0,1962	0,801	58,800	14,400*

Alle Werte in g/MWh *Angabe für NMVOC nicht für CO

Tabelle 4.4: Kennwerte der Vorkette Erdgas für GEMIS, VDEW und IZW

	Einheit	GEMIS	VDEW	IZW
PE-Faktor	-	1,07	1,14	1,10
Emissionen				
CO₂	kg/MWh	8,23	21,20	14,72
CO₂-Äq.	kg/MWh	30,49	44,40	37,45
SO₂	kg/MWh	0,01	0,00	0,01
NO_x	kg/MWh	0,03	0,11	0,07
HCl	kg/MWh	0,00	0,00	0,00
HF	kg/MWh	0,00	0,00	0,00
SO₂-Äq.	kg/MWh	0,03	0,08	0,06
Staub	kg/MWh	0,00	0,00	0,00
CO	kg/MWh	0,03	0,08	0,05
NM VOC	kg/MWh	0,00	0,01	0,01
H₂S	kg/MWh	0,00	0,00	0,00
NH₃	kg/MWh	0,00	0,00	0,00
CH₄	kg/MWh	1,06	1,09	1,07
N₂O	kg/MWh	0,00	0,00	0,00

5 Endenergien für Wärmepumpen

Wärmepumpen werden überwiegend mit Strom und Erdgas angetrieben. Für Erdgas lässt sich relativ einfach eine Vorkettenstruktur für Endenergiebereitstellung festlegen, da nur ein einzelner Primärenergieträger zu berücksichtigen ist. Zentraler Punkt der Diskussion ist das Maß von Verlusten, die in den Vorketten zu berücksichtigen sind. Wie in Abschnitt 4 erläutert, wird dabei ein Ansatz verwendet, der durch arithmetische Mittelung beide zur Verfügung stehenden Datensätze berücksichtigt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5.1 dargestellt.

Um festzulegen, welche Vorkettenstrukturen zur Bereitstellung von Strom angewendet werden können, muß zu nächst eine genauere Analyse der Netzbelastung der öffentlichen Stromversorgung gemacht werden, aus dem auch Wärmepumpenanlagen gespeist werden.

In Abbildung 5.1 und 5.2 ist der Tagesverlauf der Kraftwerksleistungen der öffentlichen Stromversorgung für Januar und Juli dargestellt. Die Summe der Kraftwerksleistungen für die einzelnen Primärenergieträger entspricht der Netzbelastung inklusive dem Auslandssaldo und der Belastung durch Speicherpumpen.

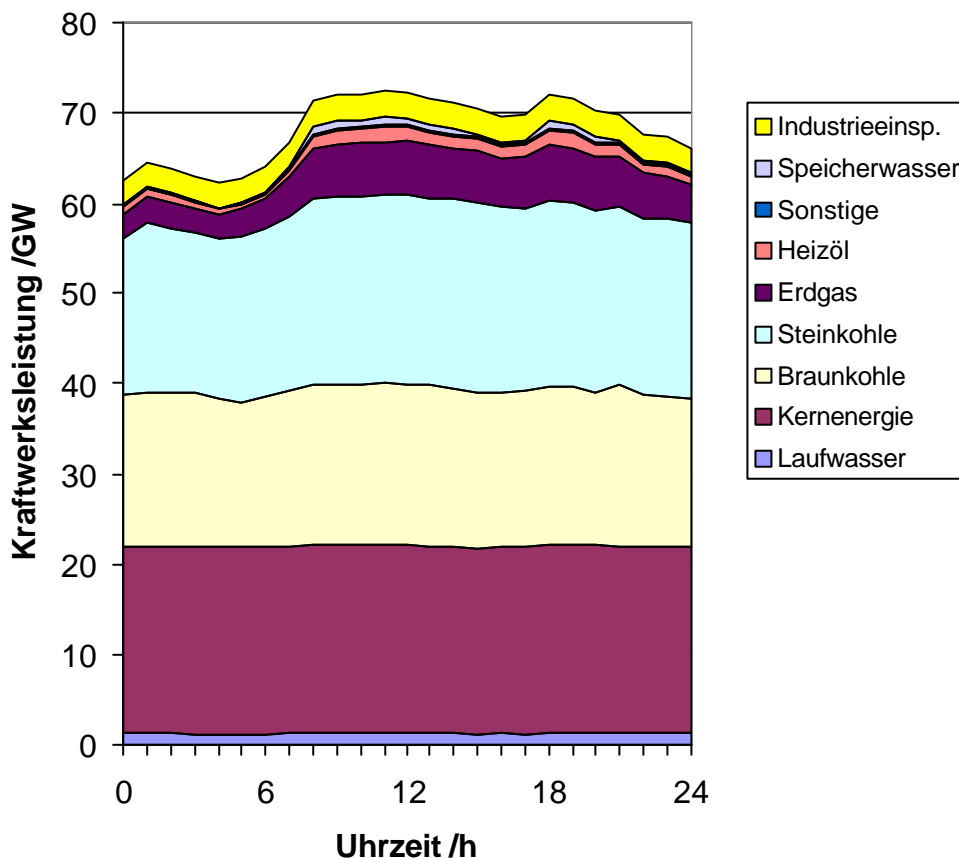


Abbildung 5.1: Tagesverlauf der Kraftwerksleistung der öffentlichen Stromversorgung im Januar 1997 [13]

Die Netzbelastung ist im Januar relativ gleichmäßig. Der Maximalwert, der um 18:00 Uhr erreicht wird, beträgt 73,04 GW, der Minimalwert, der um 4:00 Uhr erreicht wird, 62,20 GW. Dies entspricht einer Verringerung von 14,8 %. Die Grundlast wird dabei durch Laufwasser,

Braunkohle und Kernenergie aufgebracht. Mit Steinkohlekraftwerken und im zunehmenden Maße auch mit Gaskraftwerken wird die Mittellast abgedeckt. Heizöl-, Speicherwasser- und Gasturbinenkraftwerke werden als die Spitzenlastkraftwerke betrieben. Industrie-einspeisungen sind aufgrund der Leistungsstruktur als Mittellast einzustufen.

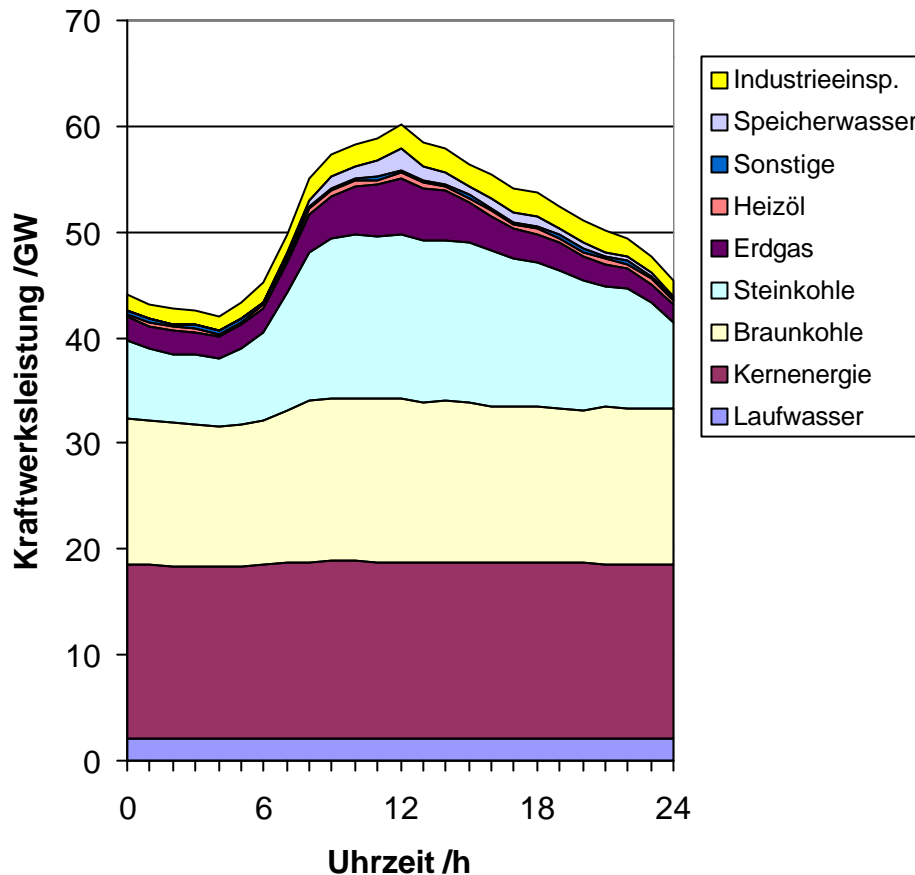


Abbildung 5.2: Tagesverlauf der Kraftwerksleistung der öffentlichen Stromversorgung im Juli 1997 [13]

Im Sommer sind die Änderungen der Netzbelastung ausgeprägter. Um 12:00 Uhr wird der Maximalwert von 60,10 GW, um 4:00 Uhr der Minimalwert von 42,06 GW erreicht. Dies entspricht einer Verringerung von immerhin 30,0 %. Um diese stärkeren Schwankungen der Netzbelastung abzudecken sind auch die Minimal- und Maximalwerte der Mittellastkraftwerke ausgeprägter. An der Verteilung zwischen Grund-, Mittel und Spitzenlast der Kraftwerke, wie es für den Januar beschrieben wurde, ändert sich aber nichts.

Die Analyse zeigt, daß während des gesamten Tages alle Primärenergieträger außer Speicherwasser an der Stromerzeugung beteiligt sind, wobei deren Beträge aufgrund der Einteilung in die verschiedenen Lastbereiche schwanken kann. Speicherwasser ist der einzige Energieträger der tatsächlich nur an einem Teil des Tages eingesetzt wird, wobei allerdings noch an 17 Stunden des Tages ein Beitrag geleistet wird. Die Schwankungen der Beiträge der einzelnen Primärenergieträger sind speziell im Winter relativ gering und nehmen aber im Sommer, wenn Wärmepumpen kaum betrieben werden, zu, wie die Abbildung 5.1 und 5.2 zeigt.

Von zentraler Bedeutung für die Bewertung von elektrisch angetriebenen Wärmepumpenanlagen ist nun die Festlegung des Strommixes für Wärmepumpenstrom. Dabei können verschiedene Modelle angewendet werden:

- Verbrauchsmodell
- Zuwachsmmodell
- Primärenergiemodell

Verbrauchsmodell

Idee dieses Modells ist es, den Strommix an die tatsächliche Inanspruchnahme von elektrischer Energie zu koppeln. Wird Strom dem allgemeinen Netz entzogen, kann dieser Strom keinem einzelnen Kraftwerk oder Energieträger mehr zugeordnet werden. Vielmehr müßte die Bedarfsstruktur von Wärmepumpenanlagen über den Tag bestimmt werden und mit den Anteilen der einzelnen Primärenergieträger an der Stromerzeugung für jede Stunde verknüpft werden.

Die Bedarfsstruktur von Wärmepumpenanlagen ist allerdings sehr heterogen, da jeder Eigentümer je nach seinen persönlichen Bedürfnissen seine Wärmepumpenanlage betreibt, Einschränkungen ergeben sich nur aus dem üblicherweise vereinbarten Stromvertrag, der dem EVU Sperrzeiten von bis 3 mal 2 Stunden am Tag erlaubt, wodurch Wärmepumpenanlagen einen wichtigen Beitrag leisten, Kraftwerke kontinuierlicher und mit geringeren Anfahrverlusten zu betreiben. Im allgemeinen kann daher davon ausgegangen werden, daß Wärmepumpenanlagen während des gesamten Tages betrieben werden, wobei sich sogar ungünstige Spitzenlastzeiten vermeiden lassen.

Aufgrund dieser ausgeglichenen Bedarfsstruktur kann der Strommix der öffentlichen Versorgung auch für Wärmepumpenanlagen angewendet werden. Da die Erzeugungsstruktur für Strom speziell im Winter ,wie Abbildung 5.1 zeigt, über den Tag relativ konstant ist, werden auch bei Abweichung der Bedarfsstruktur von Wärmepumpenanlagen zum Gesamtnetz nur geringe Fehler gemacht. Diese Ergebnisse werden auch durch eine Untersuchung aus dem Jahre 1992 gestützt [14], in der ein Strommix für Wärmepumpenanlagen berechnet wurde, der eine hohe Übereinstimmung zum Strommix der öffentlichen Versorgung aufweist.

Der Ansatz des Strommixes der öffentlichen Versorgung ist sehr weit verbreitet und anerkannt, da er sowohl einfach als auch plausibel ist und Wärmepumpenanlagen zu anderen Stromverbrauchern gleich behandelt werden.

Zuwachsmmodell

Idee dieses Modells ist es, daß durch Wärmepumpenanlagen ein zusätzlicher Strombedarf entsteht, der durch Mittellastkraftwerke, vor allem Steinkohlekraftwerke, die noch Leistungsreserven besitzen, abgedeckt werden soll. Einige erläuternde Anmerkungen müssen zu diesem Modell gemacht werden:

Erstens müßte im Mittellastbereich neben Steinkohle auch der zunehmende Gasanteil berücksichtigt werden. Auch sind in anderen Bereichen wie Kernenergie durch einen besseren Anlagenbetrieb Zuwächse in der Stromproduktion erreicht worden.

Zweitens ergibt sich der Strombedarf stets als Summe von verschiedensten Stromabnehmern, wobei zum einen neue Abnehmer, wie die steigende Anzahl von Wärmepumpenanlagen hinzukommen, und zum anderen Stromabnehmer wegfallen oder ihren Strombedarf durch ein rationellere Verfahren reduzieren. Neue Stromabnehmer müßten daher nicht nur als Zuwachsbedarf sondern auch Ersatz für bisherige Abnehmer eingestuft werden.

Insgesamt ist der kausale Zusammenhang zwischen Stromerzeugung aus Steinkohlekraftwerken und Wärmepumpenanlagen nicht hinreichend gegeben, so daß dieses Modell aus Sicht der Autoren nicht empfehlenswert ist und auch nicht weiter betrachtet wird.

Primärenergiemodell

Dieses Modell basiert auf der zentralen Annahme, daß Energiewandlungssysteme am besten miteinander verglichen werden können, wenn der gleiche Primärenergieträger eingesetzt wird, da Primärenergieträger unterschiedliche CO₂-Emissionen haben. So fallen pro Kilowattstunde bei Braunkohle mit ca. 420 g CO₂ mehr als doppelt soviel CO₂ wie bei Erdgas mit ca. 200 g CO₂ an. Auch unterscheiden sich die Kraftwerkswirkungsgrade erheblich. Wasserkraftwerke haben einen Wirkungsgrad von nahezu 100%. Bei Wärmekraftwerken ist die maximale Prozeßtemperatur wegen des Carnot-Wirkungsgrades von entscheidender Bedeutung. Gaskraftwerke in GuD-Bauweise (G'as u'nd D'ampf) haben schon heute bis zu 58 % Wirkungsgrad [15], während Steinkohlekraftwerke maximal 45 % Wirkungsgrad erreichen [16].

Der eingesetzte Primärenergieträger hat also entscheidenden Einfluß auf die CO₂-Emissionen und den Primärenergiefaktor von Energiewandlungssystemen. Wärmepumpenanlagen besitzen dabei den großen Vorteil über den Zwischenschritt der Stromerzeugung jeden Primärenergieträger zur Gebäudebeheizung einsetzen zu können. Gas- oder Ölheizungen sind stets auf ihren spezifischen Energieträger begrenzt. Dies führt auch dazu, daß die Versorgungssicherheit bei Wärmepumpenanlagen sehr hoch ist, da beim Knappwerden eines Primärenergieträgers, die Lücke durch andere Primärenergieträger ersetzt werden kann.

Beim Verbrauchsmodell, der die gängige Praxis darstellt, wird de facto eine Mixheizung mit hohem Kohleanteil oder beim Zuwachsmodell sogar eine reine Kohlenheizung mit einer Gasheizung verglichen, wenn eine elektrische Wärmepumpenanlage einer Gasbrennwertanlage gegenüber gestellt wird. Dabei werden der Wärmepumpentechnik beim Energieaufwand und bei der Bestimmung von klimawirksamen Schadstoffen die Nachteile des Einsatzes eines minderwertigen Primärenergieträgers angelastet, die nicht mit der Wärmepumpentechnik ursächlich zusammenhängen.

Sollen nun tatsächlich die Auswirkungen von unterschiedlichen technischen Konzepten einer Wärmepumpenanlage mit einer Gasbrennwertanlage auf Energieaufwand und klimarelevante Schadstoffe untersucht werden, kann als erster Ansatz eine Gasmotor-Wärmepumpe mit einem Gasbrennwertkessel verglichen werden, da dann beide Systeme mit dem gleichen Primärenergieträger betrieben werden.

Noch deutlicher würden sich die Vorteile der Wärmepumpentechnik offenbaren, wenn der Primärenergieträger Erdgas zunächst verstromt würde und dann in einer elektrischen Wärmepumpenanlage in Raumwärme umgesetzt würde. Dazu wird eine optimale Verstromung

von Erdgas definiert, die zur Zeit durch ein GuD-Kraftwerk mit 58 % Wirkungsgrad gegeben ist. Wie für alle anderen Strombereitstellungen werden auch die Vorkettenverluste durch die Erdgasbereitstellung ab Kraftwerk (arith. Mittel der Verluste von GEMIS und VDEW) und die in dieser Studie ermittelten Verteilungsverluste (Abschnitt 3) berücksichtigt. Die Kennwerte wurden mit dem Programm GEMIS 3,08 berechnet und sind in Tabelle 5.1 angegeben.

Fazit

Im Regelfall sollte mit dem Verbrauchsmodell, d. h. mit dem allgemeinen Strommix der öffentlichen Versorgung gerechnet werden. Dazu wurde in Abschnitt 3 ein neuer Strommix eingeführt, dessen Kennwerte in Tabelle 5.1 angegeben sind. Mit diesen Werten können insbesondere klimarelevante Auswirkungen durch aktuell im Betrieb befindliche Wärmepumpenanlagen erfaßt werden.

Sollen hingegen Vergleiche der technischen Eigenschaften konkurrierender Systeme bezogen auf Energieaufwand und Schadstoffemissionen durchgeführt werden, bietet das Primärenergiemodell bessere Voraussetzungen, da nur noch technische Unterschiede berücksichtigt werden.

Tabelle 5.1: Kennwerte von Endenergien für Haushalte und bei Kleinverbrauchern

	Einheit	IZW Strom WP allg.	IZW Strom WP GuD	IZW Erdgas
PE-Faktor	-	3,07	2,02	1,10
Emissionen				
CO₂	kg/MWh	625,65	392,32	14,72
CO₂-Äq.	kg/MWh	661,94	420,89	37,45
SO₂	kg/MWh	0,38	0,01	0,01
NO_x	kg/MWh	0,65	0,69	0,07
HCl	kg/MWh	0,01	0,00	0,00
HF	kg/MWh	0,00	0,00	0,00
SO₂-Äq.	kg/MWh	0,85	0,49	0,06
Staub	kg/MWh	0,06	0,01	0,00
CO	kg/MWh	0,22	0,38	0,05
NM VOC	kg/MWh	0,06	0,04	0,01
H₂S	kg/MWh	0,00	0,00	0,00
NH₃	kg/MWh	0,00	0,00	0,00
CH₄	kg/MWh	1,39	1,10	1,07
N₂O	kg/MWh	0,02	0,02	0,00

6 Zusammenfassung

In der Studie wurden die Datensätze GEMIS (Datensatz Öko-Institut des GEMIS 3.08-Programmes) und VDEW (Datensatz VDEW des GEMIS 3.08-Programmes) im Hinblick auf die Endenergien Strom und Erdgas analysiert und verglichen, wobei der Einsatz als Endenergie für Wärmepumpenanlagen und Gasbrennwertheizungen im Vordergrund stand.

Auf Basis dieser Analyse und den beiden Datensätzen wurden für Erdgas neue Kennwerte für die Vorkettenverluste bestimmt, die im allgemeinen den arithmetischen Mittelwerten der Kennwerten des GEMIS- und dem VDEW-Datensatz entsprechen, da keine Wertung der von beiden Quellen in Betracht gezogenen unterschiedlichen Referenzen möglich und sinnvoll erschien.

Für Strom wurde eine Analyse der Erzeugung für das 1997 durchgeführt und mit den gewonnenen Ergebnisse neue Kennwerte für die Vorkettenverluste der öffentlichen Stromversorgung bestimmt, die im allgemeinen für elektrische Wärmepumpenanlagen genutzt werden sollten.

Zusätzlich wurde für spezielle Vergleiche von Heizungssystemen, wo der Einfluß des Primärenergieträgers keine Rolle spielen soll, also nur die Effizienz der Energiewandlungssysteme betrachtet werden sollen, ein sogenanntes Primärenergiemodell definiert und für Erdgas eine optimale Verstromung auf Basis eines GuD-Kraftwerkes berechnet.

Mit diesen Basis-Kennwerten für die Vorketten von Strom und Erdgas wurden dann in der Studie „Untersuchung von Praxisdaten zum Primärenergiebedarf und den Treibhausgasemissionen von modernen Wärmepumpen“ [3] Variantenrechnungen zum Primärenergiebedarf und den Treibhausgasemissionen durchgeführt, die den Stand der modernen Wärmepumpentechnik im Vergleich zur Brennwerttechnik dokumentieren.

7 Referenzen

- [1] Öko-Institut e.V., Gesamthochschule Kassel: Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme v3.08. Erstellt im Auftrage des Hessischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit, 1998.
- [2] Fichtner Development Engineering: VDEW-GEMIS Stammdatensatz 3.0. Erstellt im Auftrag der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke - VDEW - e.V., Frankfurt am Main, 1998.
- [3] Heidelck, R.; Laue, H. J.: Untersuchung von Praxisdaten zum Primärenergiebedarf und den Treibhausgasemissionen von modernen Wärmepumpen. IZW e.V. – Informationszentrum für Wärmepumpen und Kältetechnik, Hannover/Karlsruhe, im Auftrage des Fachinformationszentrums Karlsruhe, April 1999.
- [4] Fritsche, U.R. et al.: Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme Version 3.0, Ein Computer-Instrument zur Umwelt- und Kostenanalyse von Energie-, Transport- und Stoffsystemen. Öko-Institut e.V. i. A. des Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit, 27. Februar 1998.
- [5] Fritsche, U.R. et al.: Gesamt-Emissions-Modell integrierter Systeme Version 2.1, Aktualisierter und erweiterter Endbericht. Öko-Institut e.V. i. A. des Hessischen Ministerium für Umwelt, Energie, Jugend, Familie und Gesundheit, Dezember 1994.
- [6] Fichtner Development Engineering: VDEW-GEMIS-Datensatz, Energiebedarf und Emissionen von Kraftwerken und Prozessen. Erstellt im Auftrag der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke - VDEW - e.V., Frankfurt am Main, Mai 1996.
- [7] Fichtner Development Engineering: Dokumentation zum Kostenmodul des VDEW-GEMIS Stammdatensatz 3.0. Endbericht, im Auftrag der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke - VDEW - e.V., Frankfurt am Main, April 1998.
- [8] Deutsche Verbundgesellschaft e.V.: Langfristige Vorschau für die öffentliche Stromversorgung in Deutschland 1994-2005. Heidelberg, Juni 1995.
- [9] Bundesministerium für Wirtschaft (BMWi): Die Entwicklung der Elektrizitätswirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1994, 46. Bericht (1994), VWEW-Verlag, Frankfurt, 1996.
- [10] Prognos AG: Die Energiemärkte Deutschlands im zusammenwachsenden Europa - Perspektiven bis zum Jahr 2020, i.A. des Bundesministers für Wirtschaft, Basel, 1996.
- [11] International Energy Agency (IEA): Energy Policy of IEA Countries - 1994 Review, Paris, 1995.
- [12] VDEW e.V. (Hrsg.): Strommarkt Deutschland 1997, Die öffentliche Elektrizitätsversorgung. ISBN 3-8022-0559-6, Oktober 1998.
- [13] Statisches Bundesamt: Monatsberichte über die Elektrizitätsversorgung 1997, Kraftwerksleistung und Netzbelastung am 3. Mittwoch im Monat. Statisches Bundesamt, 1998.

- [14] Frehn, B.; Göricke, P.: Elektro-Wärmepumpe; Wärmeerzeugung mit geringer CO₂-Emission. TAB Technik am Bau, 1992(2), S. 133-143.
- [15] Kail, C.; Rukes, B.: Fortschrittliche Gas- und Dampfturbinenprozesse zur Wirkungsgrad- und Leistungssteigerung bei GUD-Kraftwerken, VDI Berichte Nr. 1182, 1995.
- [16] Jopp, K.: Effizientere Kohle-Kraftwerke. VDI-Nachrichten, 23.10.1998, S. 29

8 Anhang

8.1 Vorketten GEMIS

In Tabelle 8.1 sind für Endenergien, die privaten Haushalten zur Verfügung stehen, die Primärenergiefaktoren und die Bezeichnungen im Programm angegeben.

Tabelle 8.1: Endenergiebereitstellung – GEMIS

Nr.	Vorkette	Bezeichnung im Programm	PE-Faktor
1	Strom öffentliche Versorgung	Netz-el-lokal-HH&KV	2,94
2	Strom Wärmepumpe Stk	Netz-el-Heizstrom-StK-lokal	2,72
3	Strom Wärmepumpe Mix	Netz-el-lokal-HH&KV	2,94
4	Strom Nachtspeicherheizung	Netz-el-Heizstrom-mix-lokal	2,93
5	Erdgas	Pipeline\Gas-D-lokal	1,07
6	Heizöl	Lkw-Nah\Öl-leicht-D	1,09

In Tabelle 8.2 sind für die in Tabelle 8.1 genannten Endenergien die Emissionen verschiedener Schadstoffe dargestellt.

Tabelle 8.2: Emissionen von Endenergien nach Tabelle 8.1 - GEMIS

Nr.	CO ₂	CO ₂ -Äq.	SO ₂	NO _x	HCl	HF	SO ₂ -Äq.	Staub	CO	NMVOC	H ₂ S	NH ₃	CH ₄	N ₂ O
1	648,55	688,88	0,43	0,93	0,02	0,00	1,09	0,06	0,27	0,09	0,00	0,00	1,55	0,02
2	907,11	1018,82	0,70	0,56	0,04	0,00	1,13	0,03	0,22	0,04	0,00	0,00	4,63	0,05
3	648,55	688,88	0,43	0,93	0,02	0,00	1,09	0,06	0,27	0,09	0,00	0,00	1,55	0,02
4	816,97	917,12	0,64	0,53	0,03	0,00	1,04	0,03	0,21	0,04	0,00	0,00	4,15	0,04
5	8,23	30,49	0,01	0,03	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	1,06	0,00
6	23,64	25,00	0,11	0,10	0,00	0,00	0,18	0,01	0,03	0,06	0,00	0,00	0,06	0,00

Alle Werte in kg/MWh

In der Tabelle 8.3 sind alle Kraftwerkstypen, die in den verschiedenen Strommischen Verwendung fanden, aufgelistet. Zu jedem Kraftwerkstyp ist der Nutzungsgrad, Primärenergiefaktor und der Vorkettenprozess angegeben. In der Tabelle 8.4 sind zu jedem Kraftwerkstyp die Emissionen verschiedener Luftschadstoffe dargestellt.

Tabelle 8.3: Wichtige Kenndaten von Kraftwerken - GEMIS

Nr.	Kraftwerkstyp	Nutzungsgrad	PE-Faktor	Vorkette
1	BrK-KW-DT-D-Lausitz-san	35,0 %	2,92	Xtra-Tagebau\BrK-Lausitz
2	BrK-KW-DT-D-Lausitz	41,0 %	2,49	Xtra-Tagebau\BrK-Lausitz
3	BrK-KW-DT-D-Leipzig	41,5 %	2,44	Xtra-Tagebau\BrK-Leipzig
4	BrK-KW-DT-D-rheinisch	37,8 %	2,74	Xtra-Tagebau\BrK-rheinisch
5	Gas-KW-GuD-D-Ost	55,0 %	1,93	Pipeline\Gas-D
6	Gas-KW-GT-D	33,0 %	3,22	Pipeline\Gas-D
7	U-KW-DWR-D	33,0 %	3,16	Fabrik\Uran-BE-D
8	Müll-KW-DT-D	12,5 %	8,00	Xtra-Rest\Hausmüll
9	Öl-schwer-KW-DT-D	41,7 %	2,72	Raffinerie\Öl-schwer-D
10	Kohle-KW-DT-D-Ballast	40,0 %	2,63	Xtra-Tiefbau\StK-D-Ballast
11	Kohle-KW-DT-D-Import	42,4 %	2,59	Schiff\StK-Import-D
12	Kohle-KW-DT-D-mix	39,0 %	2,72	Mix\StK-mix-Transport-D
13	Wasser-KW-groß-D	100,0 %	1,05	Wasserkraft
14	Wind-KW-Park-mittel	100,0 %	1,05	Wind
15	Kohle-KW-DT-D-Küste	42,4 %	2,58	Schiff\StK-Import-D

Tabelle 8.4: Emissionen von Kraftwerken nach Tabelle 8.3 - GEMIS

Nr.	CO ₂	CO ₂ -Äq.	SO ₂	NO _x	HCl	HF	SO ₂ -Äq.	Staub	CO	NMVO	H ₂ S	NH ₃	CH ₄	N ₂ O
1	1200,11	1211,19	0,85	0,86	0,00	0,00	1,45	0,11	0,24	0,02	0,00	0,00	0,04	0,03
2	1024,25	1033,69	0,72	0,73	0,00	0,00	1,23	0,09	0,20	0,01	0,00	0,00	0,04	0,03
3	901,01	909,77	0,68	0,68	0,00	0,00	1,15	0,10	0,19	0,01	0,00	0,00	0,03	0,03
4	1141,46	1151,83	0,45	0,82	0,03	0,00	1,05	0,11	0,22	0,02	0,00	0,00	0,04	0,03
5	377,20	404,59	0,02	0,61	0,00	0,00	0,44	0,01	0,34	0,03	0,00	0,00	1,05	0,02
6	632,75	679,65	0,03	4,69	0,00	0,00	3,30	0,06	0,87	0,46	0,00	0,00	1,81	0,03
7	33,87	35,14	0,12	0,15	0,00	0,00	0,22	0,03	0,05	0,01	0,00	0,00	0,04	0,00
8	596,66	611,67	0,42	2,56	0,11	0,00	2,30	0,13	1,71	1,71	0,00	0,00	0,09	0,04
9	762,04	775,11	1,08	0,64	0,00	0,00	1,52	0,07	0,37	0,18	0,00	0,00	0,22	0,03
10	851,08	959,17	1,30	0,59	0,05	0,00	1,76	0,02	0,09	0,02	0,00	0,00	4,87	0,02
11	881,75	943,15	0,74	0,83	0,02	0,00	1,35	0,10	0,28	0,04	0,00	0,00	2,29	0,04
12	907,11	1018,82	0,70	0,56	0,04	0,00	1,13	0,03	0,22	0,04	0,00	0,00	4,63	0,05
13	32,14	33,27	0,01	0,07	0,00	0,00	0,06	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
14	18,98	19,89	0,01	0,04	0,00	0,00	0,04	0,01	0,07	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
15	878,45	939,67	0,74	0,83	0,02	0,00	1,34	0,17	0,27	0,04	0,00	0,00	2,28	0,04

Alle Werte in kg/MWh

In Tabelle 8.5 sind die Primärenergiefaktoren und die CO₂-Äquivalente der Vorketten für die Kraftwerke angegeben, die an den GEMIS-Strommischen beteiligt sind.

Tabelle 8.5: Kraftwerksvorkette – GEMIS

Nr.	Vorkette	PE-Faktor	CO ₂ kg/MWh	CO ₂ -Äq.kg/MWh
1	Xtra-Tagebau\BrK-Lausitz	1,02	7,44	7,64
2	Xtra-Tagebau\BrK-Leipzig	1,01	2,89	3,04
3	Xtra-Tagebau\BrK-rheinisch	1,03	13,74	13,99
4	Pipeline\Gas-D	1,06	8,14	20,03
5	Fabrik\Uran-BE-D	1,04	9,23	9,56
6	Xtra-Rest\Hausmüll	1,00	0,00	0,00
7	Raffinerie\Öl-schwer-D	1,13	32,31	33,95
8	Xtra-Tiefbau\StK-D-Ballast	1,04	13,46	54,25
9	Schiff\StK-Import-D	1,09	20,88	41,09
10	Mix\StK-mix-Transport-D	1,05	15,42	53,21
11	Wasserkraft	1,00	0,00	0,00
12	Wind	1,00	0,00	0,00

8.2 Vorketten VDEW

In Tabelle 8.6 sind für Endenergien, die privaten Haushalten zur Verfügung stehen, die Primärenergiefaktoren und die Bezeichnungen im Programm angegeben.

Tabelle 8.6: Endenergiebereitstellung – VDEW

Nr.	Vorkette	Bezeichnung im Programm	PE-Faktor
1	Strom öffentliche Versorgung	Strom-lokal-HH&KV*	2,99
2	Strom Wärmepumpe	Strom für Wärmepumpe*	2,99
3	Strom Nachtspeicherheizung	Strom-Heizen-D*	3,00
4	Erdgas	Erdgas für HH&KV*	1,14
5	Heizöl	Öl-leicht-HH&KV*	1,10

In Tabelle 8.7 sind für die in Tabelle 8.6 genannten Endenergien die Emissionen verschiedener Schadstoffe dargestellt.

Tabelle 8.7: Emissionen von Endenergien nach Tabelle 8.6 – VDEW

Nr.	CO ₂	CO ₂ -Äq.	SO ₂	NO _x	HCl	HF	SO ₂ -Äq.	Staub	CO	NMVOc	H ₂ S	NH ₃	CH ₄	N ₂ O
1	603,97	639,77	0,31	0,52	0,01	0,00	0,68	0,07	0,20	0,04	0,00	0,00	1,38	0,02
2	603,97	639,77	0,31	0,52	0,01	0,00	0,68	0,07	0,20	0,04	0,00	0,00	1,38	0,02
3	647,60	703,63	0,37	0,51	0,01	0,00	0,74	0,09	0,10	0,02	0,00	0,00	2,25	0,03
4	21,20	44,40	0,00	0,11	0,00	0,00	0,08	0,00	0,08	0,01	0,00	0,00	1,09	0,00
5	25,55	26,88	0,12	0,09	0,00	0,00	0,19	0,02	0,04	0,07	0,00	0,00	0,05	0,00

Alle Werte in kg/MWh

In der Tabelle 8.8 sind alle Kraftwerkstypen, die in den verschiedenen Strommischen Verwendung fanden, aufgelistet. Zu jedem Kraftwerkstyp ist der Nutzungsgrad, Primärenergiefaktor und der Vorkettenprozeß angegeben. In der Tabelle 8.9 sind zu jedem Kraftwerkstyp die Emissionen verschiedener Luftschadstoffe dargestellt.

In Tabelle 8.10 sind die Primärenergiefaktoren und die CO₂-Äquivalente der Vorketten für die Kraftwerke angegeben, die an den VDEW-Strommischen beteiligt sind.

Tabelle 8.8: Wichtige Kenndaten von Kraftwerken - VDEW

Nr.	Kraftwerkstyp	Nutzungsgrad	PE-Faktor	Vorkette
1	BrK-KW-DT-D-Lausitz-san	35,0 %	2,92	Xtra-Tagebau\Brk-Lausitz
2	BrK-KW-DT-D-Lausitz*	40,0 %	2,55	Xtra-Tagebau\BrK-Lausitz*
3	BrK-KW-DT-D-Leipzig*	40,0 %	2,55	Xtra-Tagebau\BrK-Leipzig*
4	BrK-KW-DT-D-Rhein.*	37,0 %	2,80	Xtra-Tagebau\BrK-Rhein.*
5	Gas-KW-DT-D*	41,0 %	2,79	Erdgas für KW&IN*
6	Gas-KW-GT-D*	34,0 %	3,37	Erdgas für KW&IN*
7	KKW--D*	33,0 %	3,06	Mix-Brennelemente-D*
8	Müll-KW-DT-D*	12,5 %	8,00	Xtra-Rest\Hausmüll*
9	Öl-S-KW-DT-D*	40,0 %	2,86	Zug-el-Öl-schwer-D*
10	Steinkohle-KW-DT-D-Bal.*	38,0 %	2,77	Xtra-Tiefbau\StK-D-Ballast*
11	Steinkohle-KW-DT-D-Imp.*	39,0 %	2,80	Mix-Steinkohle-Import-D*
12	Steinkohle-KW-DT-D-mix*	39,0 %	2,76	Mix-Stk.-Aufkommen-D*
13	Wasser-KW-groß-D*	80,0 %	1,30	Wasserkraft
14	Wind-KA-groß-D*	100,0 %	1,03	Wind

Tabelle 8.9: Emissionen von Kraftwerken nach Tabelle 8.8 - VDEW

Nr.	CO ₂	CO ₂ -Äq.	SO ₂	NO _x	HCl	HF	SO ₂ -Äq.	Staub	CO	NMVOC	H ₂ S	NH ₃	CH ₄	N ₂ O
1	1200,11	1211,19	0,85	0,86	0,00	0,00	1,45	0,11	0,24	0,02	0,00	0,00	0,04	0,03
2	1007,18	1017,15	0,71	0,65	0,00	0,00	1,17	0,08	0,16	0,02	0,00	0,00	0,04	0,03
3	911,73	921,33	1,41	0,63	0,00	0,00	1,85	0,10	0,16	0,01	0,00	0,00	0,04	0,03
4	1132,93	1143,34	0,29	0,79	0,01	0,00	0,85	0,09	0,18	0,02	0,00	0,00	0,04	0,03
5	541,49	576,64	0,02	0,65	0,00	0,00	0,47	0,02	0,34	0,06	0,00	0,00	1,50	0,01
6	652,59	700,19	0,02	1,22	0,00	0,00	0,88	0,06	2,04	0,13	0,00	0,00	1,83	0,03
7	6,46	6,70	0,01	0,03	0,00	0,00	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
8	596,66	611,67	0,42	2,99	0,11	0,00	2,60	0,13	0,85	1,71	0,00	0,00	0,09	0,04
9	798,03	811,45	0,55	0,93	0,00	0,00	1,20	0,04	0,39	0,18	0,00	0,00	0,21	0,03
10	896,38	1010,25	0,67	0,50	0,02	0,00	1,04	0,00	0,09	0,02	0,00	0,00	5,13	0,02
11	962,55	1065,95	0,66	0,94	0,02	0,00	1,33	0,27	0,18	0,04	0,00	0,00	4,22	0,05
12	917,28	1028,94	0,54	0,74	0,02	0,00	1,08	0,14	0,14	0,04	0,00	0,00	4,62	0,05
13	32,14	33,27	0,01	0,07	0,00	0,00	0,06	0,01	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
14	11,36	11,93	0,01	0,03	0,00	0,00	0,03	0,01	0,05	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00

Alle Werte in kg/MWh

Tabelle 8.10: Kraftwerksvorkette – VDEW

Nr.	Vorkette	PE-Faktor	CO ₂ kg/MWh	CO ₂ -Äq. kg/MWh
1	Xtra-Tagebau\BrK-Lausitz	1,02	7,44	7,64
2	Xtra-Tagebau\BrK-Lausitz*	1,02	6,44	6,68
3	Xtra-Tagebau\BrK-Leipzig*	1,01	4,96	5,17
4	Xtra-Tagebau\BrK-Rhein.*	1,04	14,00	14,29
5	Erdgas für KW&IN*	1,14	21,15	34,06
6	Mix-Brennelemente-D*	1,01	1,39	1,45
7	Xtra-Rest\Hausmüll*	1,00	0,00	0,00
8	Zug-el-Öl-schwer-D*	1,13	31,54	33,08
9	Xtra-Tiefbau\StK-D-Ballast*	1,04	14,17	55,04
10	Mix-Steinkohle-Import-D*	1,08	22,47	57,02
11	Mix-Stk.-Aufkommen-D*	1,07	18,86	56,62
12	Wasserkraft	1,00	0,00	0,00
13	Wind	1,00	0,00	0,00

8.3 Vorkette Erdgas

Zur detaillierteren Analyse der Vorkette Erdgas des GEMIS- und VDEW-Datensatz im Abschnitt 4 sind in Tabelle 8.11 die emissionsbezogenen Kenndaten der beiden Datensätze zusammengefaßt.

Tabelle 8.11: Emissionsbezogene Kenndaten der Vorkette Erdgas der Stammdaten-sätze GEMIS und VDEW-GEMIS

		SO ₂	NO _x	CO ₂	CH ₄	CO
Pipeline\Gas-D-lokal	GEMIS	-	-	-	489,6	-
	VDEW	-	-	-	489,6	-
Pipeline\Gas-D	GEMIS	-	-	-	1,08	-
	VDEW	-	-	-	1,08	-
Aufbereitung-Gas-D	GEMIS	-	-	-	54,0	-
	VDEW	1,872	0,0216	-	100,8	0,036
Xtra-onshore\Gas-D	GEMIS	-	-	-	54,0	-
	VDEW	0,972	0,126	0,504	93,6	-
Pipeline\Gas-NL	GEMIS	-	-	-	2,52	-
	VDEW	-	-	-	4,68	-
Aufbereitung-Gas-NL	GEMIS	-	-	-	82,8	-
	VDEW	-	0,0216	-	100,8	0,036
Xtra-onshore\Gas-NL	GEMIS	-	-	-	82,8	-
	VDEW	-	0,1512	0,612	108,0	-
Pipeline\Gas-GUS	GEMIS	-	-	-	784,8	-
	VDEW	-	-	-	554,4	-
Aufbereitung-Gas-GUS	GEMIS	-	-	-	176,4	-
	VDEW	0,540	0,018	-	576,0	0,036
Xtra-onshore\Gas-GUS	GEMIS	-	-	-	349,2	-
	VDEW	0,396	0,270	1,080	165,6	-
Pipeline\Gas-NOR	GEMIS	-	-	-	5,76	-
	VDEW	-	-	-	5,76	-
Aufbereitung-Gas-NOR	GEMIS	-	-	-	72,0	-
	VDEW	-	0,018	-	86,4	0,036
Xtra-offshore\Gas-NOR	GEMIS	-	-	-	115,2	-
	VDEW	-	0,3924	1,602	2,304	28,8*

Alle Werte in g/MWh *Angabe für NMVOC nicht für CO